

实验十 霍尔效应.

一. 实验目的

- ① 用对称测量法测量 $U_H - I_H$ 曲线, 计算霍尔元件灵敏度
- ② 用对称测量法测量 $U_H - I_M$ 曲线, 计算霍尔元件灵敏度
- ③ 测量电磁铁气隙中磁感应强度 B 的大小和分布.

二. 实验原理

① 电极不等势误差.

电流 I_H 流过霍尔片时, 垂直于 I_H 的平面称为等势面. 如果测量 U_H 的两个电极不在同一个等势面就会存在一个附加电压. 误差电压 $U_0 = I_H r$, r 为两电极对应等势面间的电阻. U_0 的方向取决于 I_H 与 B 无关. 用对称测量法可以消除此误差.

② 爱廷斯豪森效应

载流子的速度具有统计分布. 霍尔电场 E_H 的大小取决于载流子的平均速度 v . 如果速度为 v 的载流子刚好平衡后, 则速度大于和小于 v 的载流子则会各自向对立面偏转. 从而在 y 方向产生温差并引起温差电势 U_E . 其方向取决于 I_H 和 B . 因此不能用对称测量法消除.

③ 里吉-勒迪克效应

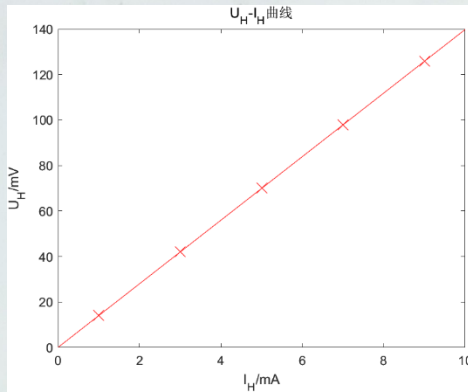
如果在霍尔片 x 方向有温度梯度, 则 x 方向会有一个扩散流 I_d . 其在 y 方向引起类似于爱廷斯豪森效应的温差电势 U_{RL} . 其方向与 B 有关, 但与 I_H 无关.

④ 能斯特效应

上述扩散流在洛伦兹力作用下将直接产生附加电势 U_N . 其方向与 B 有关, 但与 I_H 无关. U_{RL} 和 U_N 可以通过改变 I_H 方向用对称测量法消除. 在特大电流, 强磁场下可忽略 U_E . 通过改变 I_H 和 B 方向, 可测得 4 个霍尔电压值. 将其绝对值求平均即可消除副效应的误差.

三. 数据处理

1. $U_H - I_H$ 曲线如图



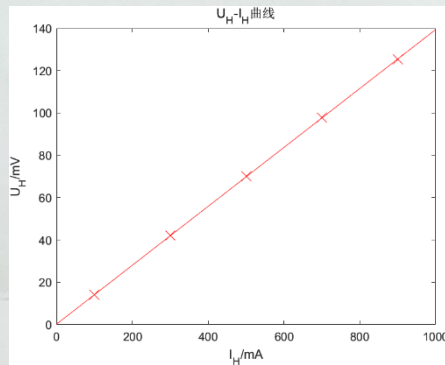
最小二乘法计算 K_1

$$K_1 = \frac{\overline{U_H I_H} - \overline{U_H} \cdot \overline{I_H}}{\overline{I_H^2} - (\overline{I_H})^2} = 14.0$$

灵敏度

$$K_{H1} = \frac{U_H}{I_H B} = \frac{K_1}{C I_M} = 1.75 \times 10^2 \text{ V/A.T}$$

2. $U_H - I_M$ 曲线如图



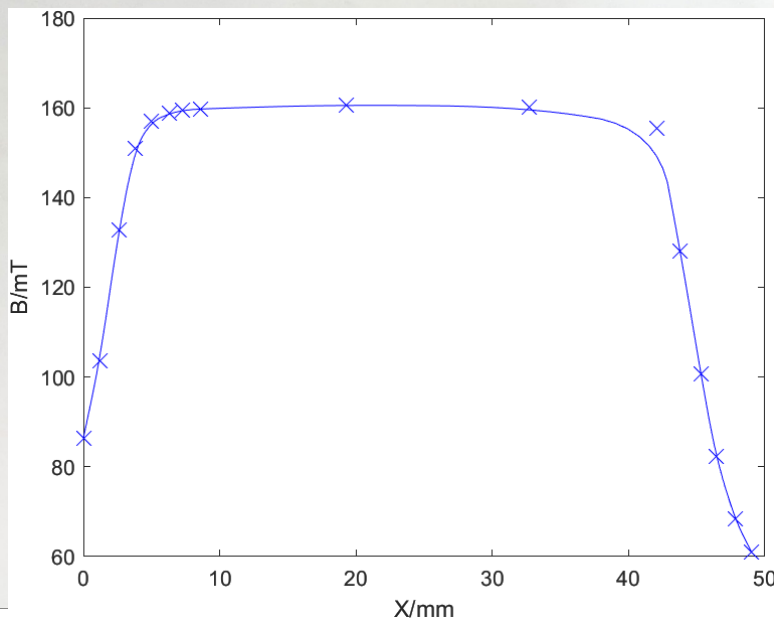
最小二乘法计算 K_2

$$K_2 = \frac{\overline{U_H I_M} - \overline{U_H} \cdot \overline{I_M}}{\overline{I_M^2} - (\overline{I_M})^2} = 0.139$$

灵敏度

$$K_{H2} = \frac{U_H}{I_H C I_M} = \frac{K_2}{C I_H} = 1.74 \times 10^2 \text{ V/A.T}$$

3. $B - X$ 图如下.



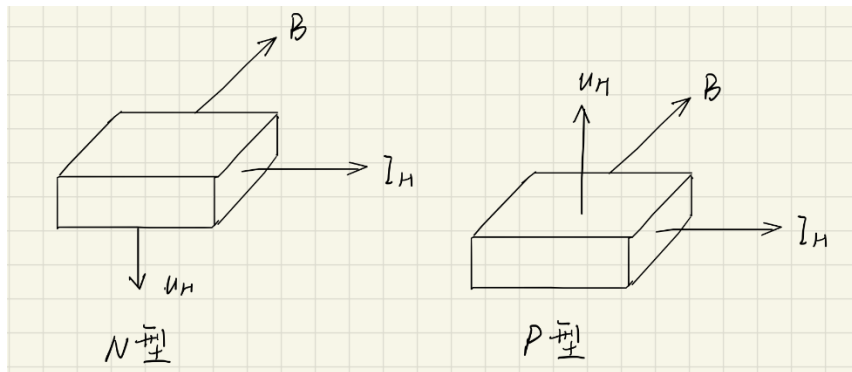
四、实验结论及现象分析

霍尔元件的灵敏度约为 $1.74 \times 10^2 \text{V}/(\text{A} \cdot \text{T})$ 。

电磁铁气隙在 X 方向上磁感应强度的分布为：在中心一段长度内磁感应强度几乎保持不变，在电磁铁气隙两侧时，磁感应强度随着远离气隙中心而减小。

五、问题讨论

1. 如何根据 B、 I_H 、 U_H 的方向判断霍尔元件的导电类型（N 型或 P 型）。



在 N 型半导体中，B、 I_H 与 U_H 成右手螺旋方向

在 P 型半导体中，B、 I_H 与 U_H 成左手螺旋方向

因此本实验中所用的霍尔元件导电类型为 N 型。

2. 估算本实验所用霍尔元件的载流子密度。

由 $U_H = \frac{I_H B}{ned}$ 可得：

$$n = \frac{BI_H}{deU_H} = \frac{1}{deK_H} = 1.38 \times 10^{20} \text{m}^{-3}$$

实验原始数据

1. $I_M = \underline{300} \text{ mA}$ $C = \underline{266.0} \text{ mT/A}$ $d = \underline{0.260} \text{ mm}$ $B = \underline{19.8} \text{ mT}$

| $I_H \text{ (mA)}$ | $U_1 \text{ (mV)}$ $+I_M + I_H$ | $U_2 \text{ (mV)}$ $-I_M + I_H$ | $U_3 \text{ (mV)}$ $+I_M - I_H$ | $U_4 \text{ (mV)}$ $-I_M - I_H$ | $U_H = (U_1 + U_2 + U_3 + U_4) / 4$ (mV) | |
|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|--|
| 1.00 | 13.9 | -14.0 | -13.9 | 14.0 | 14.0 | |
| 3.00 | 41.9 | -42.2 | -41.9 | 42.2 | 42.0 | |
| 5.00 | 69.8 | -70.2 | -69.8 | 70.3 | 70.0 | |
| 7.00 | 97.6 | -98.2 | -97.5 | 98.2 | 97.9 | |
| 9.00 | 125.5 | -126.1 | -125.5 | 126.2 | 125.8 | |

2. $I_H = \underline{300} \text{ mA}$ $C = \underline{266.0} \text{ mT/A}$ $d = \underline{0.260} \text{ mm}$

| $I_M \text{ (mA)}$ | $U_1 \text{ (mV)}$ $+I_M + I_H$ | $U_2 \text{ (mV)}$ $-I_M + I_H$ | $U_3 \text{ (mV)}$ $+I_M - I_H$ | $U_4 \text{ (mV)}$ $-I_M - I_H$ | $U_H = (U_1 + U_2 + U_3 + U_4) / 4$ (mV) | $B \text{ (mT)}$ |
|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|------------------|
| 100 | 13.8 | -14.2 | -13.8 | 14.2 | 14.0 | 26.6 |
| 300 | 41.9 | -42.2 | -41.8 | 42.2 | 42.0 | 79.8 |
| 500 | 69.9 | -70.2 | -69.8 | 70.2 | 70.0 | 133.0 |
| 700 | 97.7 | -98.0 | -97.7 | 98.0 | 97.8 | 186.2 |
| 900 | 125.2 | -125.4 | -125.1 | 125.5 | 125.3 | 239.4 |

3. ~~$I_H = 5.00 \text{ mA}$~~ $I_M = \underline{600} \text{ mA}$ $C = \underline{266.0} \text{ mT/A}$

| $\bar{x} \text{ (mm)}$ | $U_1 \text{ (mV)}$ $+I_M + I_H$ | $U_2 \text{ (mV)}$ $-I_M + I_H$ | $U_3 \text{ (mV)}$ $+I_M - I_H$ | $U_4 \text{ (mV)}$ $-I_M - I_H$ | $U_H = (U_1 + U_2 + U_3 + U_4) / 4$ (mV) | $B \text{ (mT)}$ |
|------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---|------------------|
| 0.0 | 75.0 | -75.5 | -74.9 | 75.5 | 75.2 | 86.4 |
| 1.2 | 90.4 89.9 | -90.3 | -89.8 | 90.4 | 90.1 | 103.6 |
| 2.6 | 115.2 | -115.7 | -115.2 | 115.8 | 115.5 | 132.8 |
| 3.8 | 131.2 | -131.6 | -131.1 | 131.7 | 131.4 | 151.0 |
| 5.0 | 136.3 | -136.7 | -136.2 | 136.8 | 136.5 | 156.9 |
| 6.3 | 137.9 | -138.3 | -137.9 | 138.4 | 138.1 | 158.7 |
| 7.3 | 138.5 | -138.9 | -138.5 | 139.0 | 138.7 | 159.4 |
| 8.6 | 138.8 | -139.2 | -138.8 | 139.3 | 139.0 | 159.8 |
| 19.3 | 139.5 | -140.0 | -139.5 | 140.0 | 139.8 | 160.7 |
| 32.7 | 139.2 | -139.6 | -139.1 | 139.7 | 139.4 | 160.2 |
| 42.1 | 135.0 | -135.4 | -135.0 | 135.5 | 135.2 | 155.4 |
| 43.8 | 111.2 | -111.6 | -111.1 | 111.6 | 111.4 | 1268.0 |

实验结束

| | | | | | | |
|------|------|-------|-------|------|------|-------|
| 45.3 | 87.4 | -87.8 | -87.4 | 87.9 | 87.6 | 100.7 |
| 46.4 | 71.4 | -71.9 | -71.4 | 71.9 | 71.6 | 82.3 |
| 47.8 | 59.1 | -59.5 | -59.1 | 59.7 | 59.4 | 68.3 |
| 49.0 | 53.0 | -53.5 | -53.0 | 53.5 | 53.2 | 61.1 |